e-ISSN (Online): 2790-3230

Dynamique des émissions de gaz à effet de serre liées au secteur foresterie et autres affectations des terres (FAT) dans le paysage du socle Eburnéen au Togo

Dynamics of greenhouse gas emissions linked to the forestry sector and other land uses (AFOLU) in the Eburnean basement landscape in Togo

FOLEGA Abdel Akim[12*], FOLEGA Fousseni[1], WOEGAN Agbelessissi Yao[1], WALA Kperkouma[1], AKPAGANA Koffi[1]

Résumé

En Afrique de l'Ouest et particulièrement au Togo les écosystèmes aussi bien naturels qu'anthropisés sont pourvoyeurs de nombreux services et biens. Cette étude est une contribution à une meilleure gestion des ressources naturelles des paysages sous forte emprise des activités socioéconomique et très sensible aux effets des changements climatiques. Les données des formes d'utilisations des terres des années 1977, 1987, 1997, 2007, et 2017 ont été obtenues suite à une classification des images satellites de type Landsat. Ces données ont servi à évaluer l'empileur d'activités dans le socle grâce aux analyses géostatistique de type intersection et différence sous QGIS 3.81. Les facteurs d'émission des différentes formes d'utilisation des terres identifiées dans la zone d'étude ont été estimées grâce à l'équation allométrique de Chave après un inventaire forestier réalisé dans 99 placettes de 1 ha distribués suivant une maille de 5 km. Enfin les émissions liées à la déforestation et la dégradation des terres a été évaluées en multipliant les données d'activités par les différents facteurs d'émissions. Les résultats montrent que les facteurs d'émissions des savanes (Sa), parcs agroforestiers (PA), de la végétation marécageuse saisonnière (VMS), des jardins de case (JC) sont respectivement 0,66 t/ha, 1,69 t/ha, 1,35 t/ha et 0,58 t/ha. Il est constaté une forte conversion des savanes au profit des parcs agroforestiers évaluée à 36114,53 ha (1977-1987), 27947,52 ha (1987-1997), 22223,67 ha (1997-2000), 20535,61 ha (2000-2007), et 1892,12 ha (2007-2017). Pour la période de 1977 à 1987 les savanes qui ont demeuré ont stocké 22879,24 t.C-1. La conversion des savanes en parcs agroforestiers a occasionné une émission de 37185,07 t.C-1. Les émissions liées à la conversion des savanes en d'autres formes d'utilisations des terres entre 1977 et 2017 sont respectivement de 60626,15 t.C-1 (Pa), de 9743,09 t.C-1 (VMS), et de 289,58 t.C-1 (Jc). La préservation des écosystèmes s'avère indispensable pour toute politique d'optimisation du potentiel d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre en l'occurrence CO2. L'étude bien qu'ayant un caractère local pourrait contribuer à la déclinaison des politiques liées aux mécanismes REDD+, NAMA, et MDP auxquels le Togo a souscrit ; tout en continuant son approfondissement.

Mots Clés : Séquestration du carbone, affectation des terres, Emission de carbone, Togo.

Abstract

The accelerated landscape change in Togo is the source of various emissions linked to the allocation of forms of land use. This study is a contribution for a better management of natural resources in landscapes under strong influence of socioeconomic activities and very sensitive to the effects of climate change. Data on land use forms for the years 1977, 1987, 1997, 2000, 2007, and 2017 obtained following a classification of Landsat-type satellite images were used to evaluate the activity data in the base thanks to geostatistical analyzes of the intersection and difference type under QGIS 3.81. The emission factors of the different forms of land use identified in the study area were estimated using the allometric equation of Chave after a forest inventory carried out in 99 plots of

[1] Laboratoire de botanique et écologie végétale, département de Botanique, Faculté des Sciences (FDS), Université de Lomé (UL), 1 BP 1515 Lomé 1, Togo
[2] Département de foresterie, Institut National de Formation Agricole (INFA) de Tové, BP 401 Kpalimé, Togo
[*]Auteur correspondant : akimfolega@gmail.com

1 ha distributed according to a 5 km grid. Finally, the emissions linked to deforestation and land degradation were evaluated. The results show that the emission factors of savannas (Sa), agroforestry parks (PA), seasonal swamp vegetation (VMS), and home gardens (HG) are respectively 0.66 $t.ha^{-1}$, 1.69 $t.ha^{-1}$, 1.35 $t.ha^{-1}$ and 0.58 $t.ha^{-1}$. It is noted a strong conversion of savannas especially for the benefit of agroforestry parks over the entire time series. The loss of savannahs for agroforestry parks is estimated at 36114.53 ha (1977-1987), 27 947.52 ha (1987-1997), 22 223.67 ha (1997-2000), 20 535.61 ha (2000-2007), and 1 892.12 ha (2007-2017). There is also a gradual increase in the home gardens over the same period, confirming the highly anthropized nature of the landscape. The conversion of savannas into agroforestry parks resulted in an emission of 37 185.07 tEqC. This emission trend linked to the conversion of savannas to other form of land use is observed over the same time series. These emissions are respectively between 1977 and 2017 60,626.15 tEqC (Pa), 9743.09 tEqC (VMS), and 289.58 tEqC (HG). The study although having a local character could contribute to the declination of policies related to REDD+, NAMA, and MDP mechanisms to which Togo has subscribed; while enhancing substantial improvement.

Keywords : Carbon sequestration, land allocation, Carbon emission, Togo.

1. Introduction

En ce 21ème siècle, la protection du climat est devenue une urgence mondiale comme en témoigne les multiples conférences et accords sur le climat (Solomon, 2007 ; Luedeling & Neufeldt, 2012). L'une de ces conférences s'est tenue à Durban en 2011 et avait pour objectif de parvenir à un nouvel accord de négociation de type Kyoto (Hulme, 2005) visant à réduire par pays les émissions des gaz à effet de serre (GES). Malgré ces engagements, le réchauffement du système climatique mondial est sans équivoque (Ekoungoulou *et al.*, 2014) et leurs conséquences sur l'homme et son écosystème ne font que renforcer.

En zone tropicale, depuis 1990, le changement d'usage des sols émet annuellement environ 15 à 25 % de gaz à effet de serre, avec comme principal facteur la déforestation (Angelsen & Rudel, 2013 ; Ahmad *et al.*, 2019). À cette déforestation émettrice de gaz carbonique se rajoute la dégradation des forêts tropicales qui peut produire des émissions de CO_2 importantes. Aujourd'hui, les écosystèmes terrestres sont menacés et font face aux effets de la hausse continue des concentrations de gaz carbonique, à une forte variation des précipitations, aux inondations, à la sécheresse, et à l'augmentation des températures (FAO., 1997 ; Gibbs *et al.*, 2007 ; Diwediga *et al.*, 2017). Les principales causes de ces changements globaux reposent sur une décomposition par période des effets des différents facteurs émanent des secteurs de la foresterie, de l'agriculture, de l'énergie, de l'industrie, du transport, du bâtiment et du traitement des déchets(Folega *et al.*, 2011 ; Kombate *et al.*, 2019 ; Folega *et al.*, 2020).

Le Togo n'échappe pas à cette situation où les taux de déforestation annuels ont été estimés à 4,5 % entre 2000 et 2005, et 5,1 % entre 2000 et 2010 (Keenan *et al.*, 2015 ; MacDicken, 2015). Cette dynamique régressive de la végétation induit des émissions de gaz à effet de serre (GES) dont le CO_2. Le secteur utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie constitue une source importante d'émanation de CO_2, plus des 2/3 des émissions nationales (Diwediga *et al.*, 2017 ; Folega *et al.*, 2020). Ces émissions sont dues à la combustion et la décomposition de la biomasse non récoltée lors de la déforestation.

Le paysage du socle éburnéen, marqué par un système cultural purement extensif, n'est pas épargné par le phénomène de la déforestation. La population riveraine exerce une forte pression sur les écosystèmes forestiers restants. Cette forte déforestation entraine la perte de la biodiversité et l'amenuisement du stock de carbone des différents types formations (Polo-Akpisso *et al.* ; Fousseni *et al.*, 2012 ; Folega *et al.*, 2019). Il paraît opportun d'identifier les déterminants des émissions dans le paysage du socle éburnéen et d'analyser leur évolution à le temps, (Angelsen & Rudel, 2013 ; Allen *et al.*, 2016). Ces données s'avèrent essentielles pour l'actuel mécanisme REDD+ qui cherche à rémunérer l'évitement des émissions de CO_2 dues à la déforestation et à la dégradation des forêts.

Cette étude est une contribution à l'atténuation du réchauffement climatique à travers la connaissance des facteurs d'émissions liées aux affectations des formes d'utilisations des terres du socle éburnéen au Togo. Elle se propose à l'échelle locale d'estimer les facteurs d'émission du carbone, les données d'activités et le taux d'émission du carbone tout en analysant la dynamique des émissions liées à la

dégradation des écosystèmes entre 1977 à 2017.

2. Matériel et méthodes

2.1. Milieu d'étude

Le socle Eburnéen est situé au nord-ouest du Togo dans la région des Savanes (Figure 1). L'affleurement s'observe entre -0°14' et 0°49' LE et 10 °77' et 11°11' LN. Ce paysage a une superficie de 1 293 km² (Poss, 1996), soit 13,4 % de la région des Savanes(MEDDPN, 2016).

Le paysage du socle Eburnéen est une pénéplaine constituée d'un vaste ensemble de terrains très plissés, métamorphisés et largement granitisés sur lequel repose en discordance des terrains sédimentaires du bassin de la volta formant la couverture (Blaser *et al.*, 2011). Le socle Eburnéen est principalement constitué de granite, de gneiss, des amphibolites et des amphibolo-pyroxénites très hétérogènes même à une échelle métrique (Blaser *et al.*, 2011).

Deux types de sols se sont développés sur le socle Eburnéen. Il s'agit des sols peu évolués d'apport (sols ferrugineux tropicaux lessivés à faible profondeur) et des sols peu évolués d'érosion. Le socle Eburnéen est drainé par plusieurs cours d'eau relevant des sous bassins de la Volta blanche et de l'Oti. Les plus importants sont entre autres le Biankouri, Oubiaro et le Zintagou.

Le climat est de type tropical soudanien à deux saisons (Jacquin *et al.*, 2010) : Une saison sèche d'environ sept mois (octobre à avril) et une saison des pluies courte (mai à septembre). Les températures oscillent entre 23 et 32°C en saison sèche et entre 22 et 34°C en saison des pluies (Jacquin & Goulard, 2013 ; Folega *et al.*, 2019).

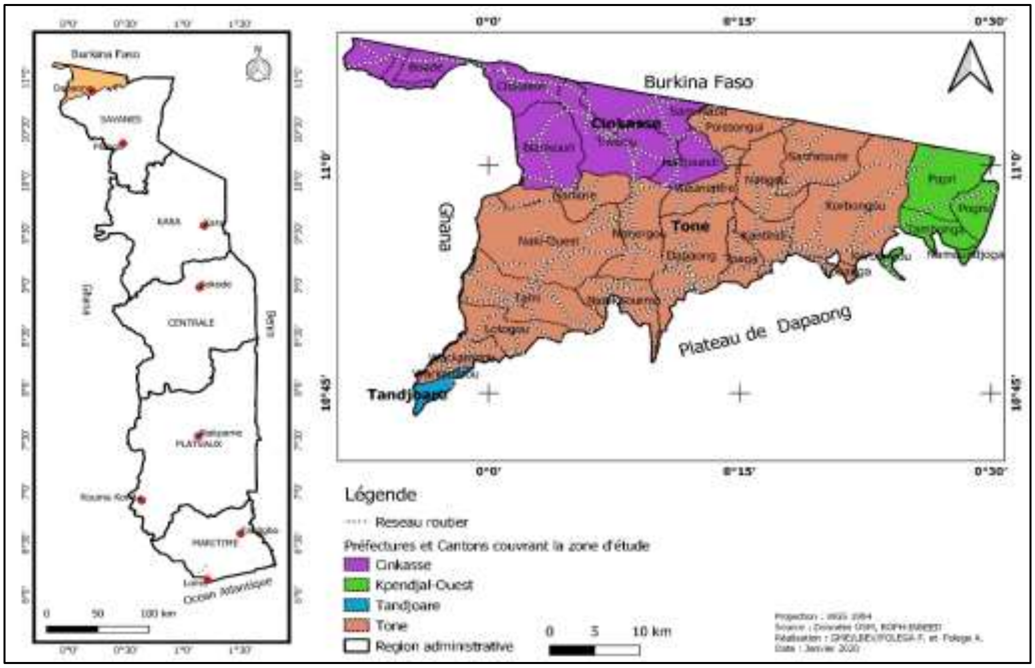


Figure 2 : Localisation de la zone d'étude

La quantité moyenne de pluies varie entre 800 et 1100 mm. Quatre formes d'utilisations (Folega *et al.*, 2019) majeures des terres ont été identifiées. Il s'agit :

Des zones de végétation marécageuses saisonnières complètement dominées par les espèces de *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight & Arn. (46 %), *Azadirachta indica* A. Juss. (13 %), *Sarcocephalus latifolius* (Smith) Bruce (9 %), *Vitellaria paradoxa* Gaertn. f. (9 %), *Acacia sieberiana* DC. (7 %).

Des parcs agroforestiers à *Vitellaria paradoxa* (26%), *Azadirachta indica* (24 %), *Dichrostachys cinerea* (3 %), *Anogeissus leiocarpus* (4%). Les agro systèmes sont en majorité sur des sols argilo- sableux soit (32,78%).

Jardins de case/trame urbaine à majorité *Senna siamea* (51%), *Azadirachta indica* (18%), *Mangifera indica* L. (5%), *Lannea microcarpa* (4 %), *Moringa oleifera* (4 %). Elle résulte en majorité de la transformation régressive des parcs agro forestiers.

Savanes dégradées dominées par *Vitellaria paradoxa* (10%), *Dichrostachys cinerea* (11%), *Vitex doniana* (3%), *Terminalia laxiflora* (3%). Ces savanes occupent majoritairement des sols cuirassés (47,1%) et des sols sableux (16,3%). Le niveau du drainage des savanes est estimé à 32,7%. La faune subit de fortes pressions dues à la croissance démographique et à l'urbanisation. Outre les feux de végétations couplés au braconnage, d'autres pratiques cynégétiques basées sur l'abattage illicite de la faune représentent un grave danger pour la faune sauvage dans cette zone (Polo-Akpisso *et al.*, 2016). La population de la zone est estimée de 253 566 habitants selon le 4ème Recensement Général de la Population et de l'habitat réalisé en 2010 composée des groupes socioculturels tel que les Moba, Gourma, Mamproussi, Yanga, Bissa et Peuls. Les revenus des ménages de ce paysage sont basés essentiellement sur l'agriculture, l'élevage, et de la commercialisation des produits agricoles.

2.2 Evaluation des données d'activités

Pour couvrir tout le socle éburnéen, des images LandSAT de résolution spatiale moyenne (30 m x 30 m) de 1977, 1987, 1997, 2000, 2007, 2017 ont été utilisées. Ces images, téléchargées gratuitement du site Earth Explorer et du programme USGS (Explorer, 2014), sont prétraitées et disponibles au Laboratoire.

Des images prétraitées et disponible au Laboratoire de Botanique et Ecologie Végétale sont extraites le socle éburnéen. Ces images ont servi à l'analyse diachronique (progression ou recul) de chaque forme d'occupation du sol de 1977, 1987, 1997, 2000, 2017. Les données des superficies de la série temporelle issues des images Landsat classifiées ont servi à déterminer les données d'activités du socle éburnéen. Les données d'activité en occurrence l'évolution des superficies des formes d'utilisation des terres d'une année à une autre provienne du traitement des images LandSAT de résolution 30 m x 30 m de 1977, 1987, 1997, 2000, 2007, et 2017. Cette source de données multi date sont obtenue suite aux travaux de suivi des écosystèmes du socle éburnéen (Folega *et al.*, 2019). Le niveau de précision des images classifiées varie entre 60 et 80 % suivant l'indice de kappa (Figure 2). Cinq types d'occupation des terres sont issus des classifications à savoir les savanes, les parcs agroforestiers, la végétation marécageuse, les zones urbaines et les plans d'eaux. L'analyse visuelle de la dynamique de l'occupation des superficies montre une régression des formations boisées au profit des paysages agraires et urbains.

La méthode de substitution réaliser à partir du logiciel QGIS (version 3.18) a permis de générer une matrice de conversion des terres en fessant la différence des images la plus ressente et là moins ressente afin de générer une image intermédiaire des deux dates. Les superficies de cette nouvelle image sont extraites à partir de la table d'attribut du logiciel QGIS et traité partir du tableur Excel (le tableau dynamique croisé) afin de ressortir les superficies qui ont été réaffectés aux FUT. Le tableau de la matrice de conversion est généré de façons que les colonnes correspondent aux superficies des différents FUT des images les plus ressentes et les lignes correspondes aux superficies des FUT des images les moins ressent entre les deux dates.

Pour ce faire, le rythme de conversion des formes d'utilisations des terres d'une année à une autre a été appliqué aux données suivant une formule simplifiée des processus REDD+ :

$$Da = (T2 - T1)/n$$

Ou Da = donnée d'activités (ha/an) T2 = la superficie d'une FUT au temps, T1 = superficie d'une FUT au temps T1, et n = nombre d'année entre T2 et T1.

La variation de la superficie d'une FUT entre deux dates (années) donnée par $\Delta U = U_2 - U_1$ permet d'apprécier le sens d'évolution entre les deux dates :

Si $\Delta U = 0$, on conclut qu'il y a stabilité ;
Si $\Delta U < 0$, on conclut qu'il y a diminution de cette unité ;
Si $\Delta U > 0$, il y a extension de cette unité.

Le taux d'évolution *(Ta)* d'une unité d'occupation donnée entre deux années X et Y est calculé à partir de la formule suivante (Arouna, 2012 ; Abba, 2013) :

$$Ta = [((SY - SX)\ /SX)\ * 100]\ /I$$

Où, S_X = superficie d'une unité de végétation en année X, S_Y = superficie de la même unité de végétation en année Y, et I = nombre d'années entre les années X et Y.

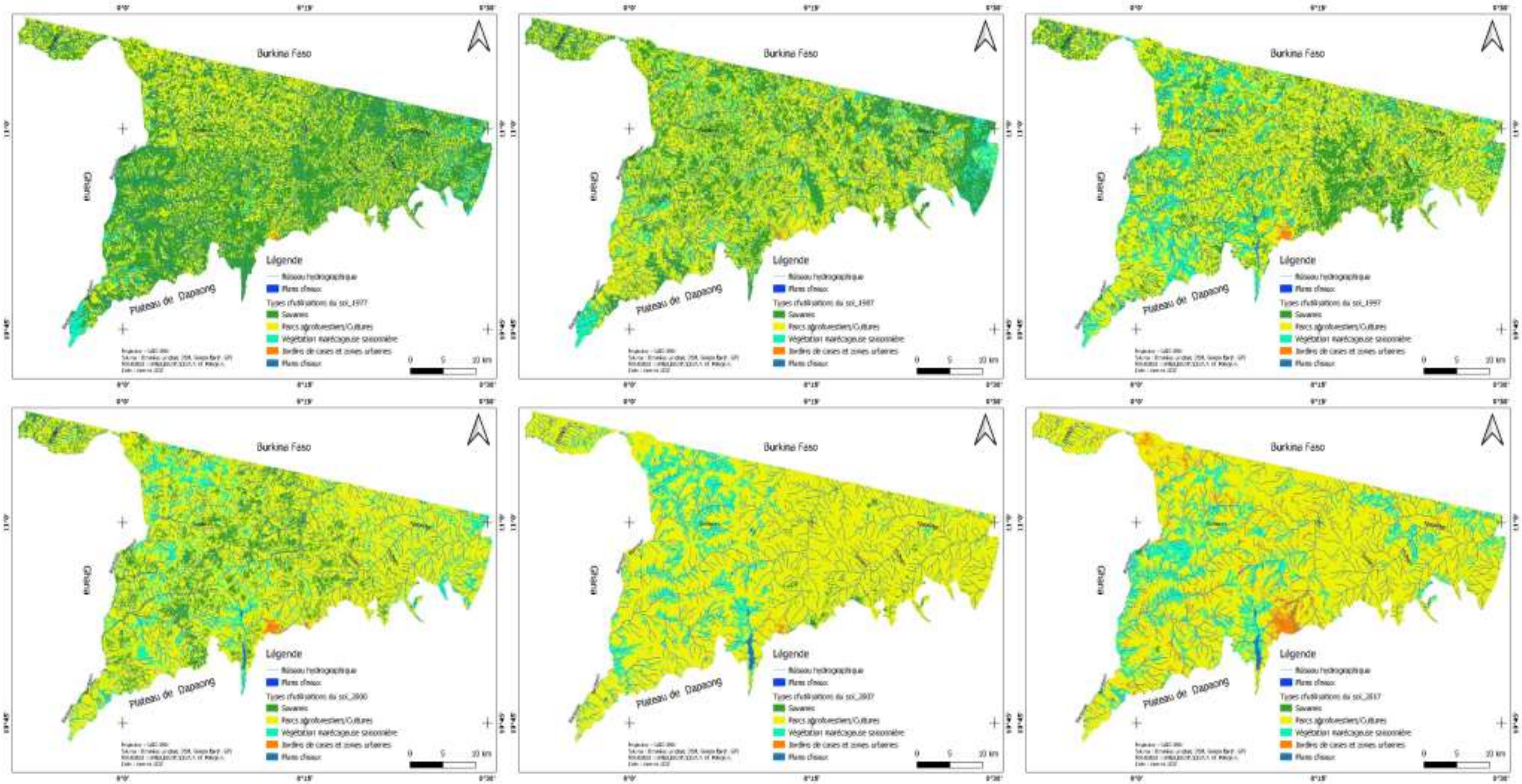


Figure 2. Série temporelle des données d'activité

2.2. Evaluation des facteurs d'émissions liés à la dégradation des écosystèmes

À partir du fichier vecteur du socle éburnéen et du logiciel QGIS 3.83 (QGIS-Dev-Team, 2016), 99 points à maille régulière de 5 km ont été posés afin de générer les placettes d'inventaire (Figure 3). Ce choix s'explique par la volonté d'échantillonner systématiquement les ligneux dans toutes les différentes formes d'utilisations des terres dans le socle.

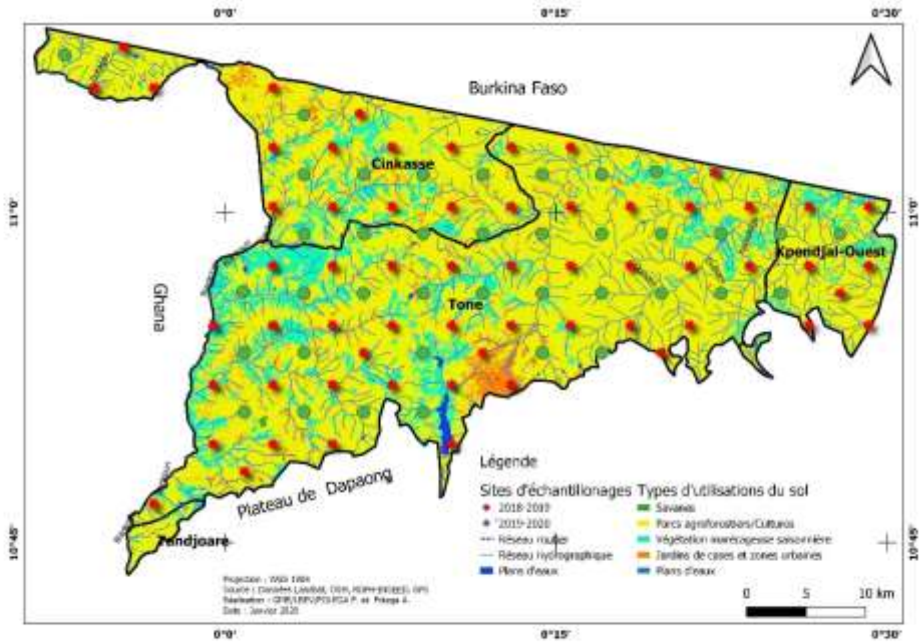


Figure 3. Présentation des 99 points d'échantillonnage

Les points d'échantillonnage ont été traqués à partir de l'application MapsMe installé sur un téléphone portable. À chaque point d'échantillonnage un quadra de 1 ha soit 100 m x 100 m a été établie grâce au penta décamètre et au GPS.

Sur chaque aire, tous les individus d'arbres de diamètre supérieur ou égal à 10 cm ont fait l'objet de mesures dendrométriques à l'aide du ruban pi au dhp. Pour tous individus dont le diamètre à hauteur de poitrine (dhp=1,30 m) est supérieur ou égal à 5 cm (CABALLE, 1984 ; Ouédraogo *et al.*, 2008 ; Aboubacar *et al.*, 2018). Les mesures concernent le diamètre, la hauteur fût, la hauteur totale, le diamètre de la couronne (N-S et E-W). La hauteur du fût et la hauteur totale sont évaluées par cotation télescope. Le diamètre du houppier est évalué suivant les directions Nord-Sud et Est-Ouest et est mesuré par le penta décamètre. Pour chaque individu mesuré une nomenclature suivant les flores analytiques du Togo (Brunel *et al.*, 1984) et du Bénin (Akoègninou *et al.*, 2006) lui est affecté.

Le calcul de la biomasse aérienne (BA) et de la biomasse souterraine (BS) ont été évaluée respectivement grâce aux équations allométriques développées par Chave *et al.*,(2005) et Cairns *et al.*, (1997).

$$BA= EXP\ [-2{,}187+0{,}916LN\ (\rho HD^2)]$$

Avec D = diamètre à hauteur de poitrine ; ρ = densité spécifique du bois (en t/m³ séché à 103°c) et H = hauteur totale de l'arbre.

Pour les espèces dont la densité spécifique n'est pas connue, la densité moyenne ρ= 0,58 t/m³ a été attribuée (Chave *et al.*, 2005).

$$BS= EXP\ [-1{,}0587+0{,}3386LN(BA)]$$

Avec BS = biomasse souterraine et BA = biomasse aérienne

La somme de la biomasse aérienne (BA) et la biomasse souterraine donne la biomasse totale (Fousseni *et al.*, 2019 ; Folega *et al.*, 2020) :

$$BT = BA + BS$$

Le Stock de Carbone (SC) a été déduit par la formule ci-dessous

$$SC= BT \times CF$$

CF = le ratio de carbone par défaut toutes espèces confondues(GIEC, 2006), égal à 0,47.
L'équivalent de CO_2 (EqC) est déterminé par la relation ci-dessous

$$EqC = 3{,}67 \times SC \text{ (GIEC, 2006)}$$

Un facteur d'émission correspond aux stocks de carbone et aux variations des stocks de carbone lorsqu'une forme d'utilisation de terre passe à une autre forme. Les données dendrométriques ont permis d'estimer la biomasse et les facteurs d'émission (stock de carbone en équivalent CO_2).

2.4. Analyses des émissions liées à la conversion des formes d'utilisations des terres

L'émission du carbone est la quantité de carbone qu'un écosystème peut rejeter dans l'atmosphère lorsqu'il change d'état. Afin de calculer ces émissions, on se sert de la formule ci-dessous

$$E = da \times Fe$$

E = émission ; da= données d'activité ; Fe = Facteur d'émission (GIEC, 2006).

Sur la base de la matrice de conversion des terres, une matrice des émissions est générée dont les colonnes du tableau correspondent aux émissions des forme d'utilisation des terres de l'année supérieure et les lignes correspondent aux émissions des forme d'utilisation des terres de l'année supérieure. Ainsi, l'intersection entre les lignes et les colonnes des deux dates correspondent à la quantité de carbone stocké des deux dates, des FUT qui sont restées constantes sans avoir subi de conversion.

3. Résultats

3.1. Facteurs d'émission des différentes formes d'utilisation des terres du Socle éburnéen

A l'analyse des valeurs issues du calcul des facteurs d'émissions, les savanes bien qu'ayant de fortes densités en tige (21,87 pieds/ha) accumulent peu de biomasse (0,66 tC/ha) par unité de surface. Les parcs agroforestiers (11,24 pieds/ha) et la végétation marécageuse saisonnière (15,33 pieds/ha) pour des densités relativement faibles, accumulent des densités élevées en stock de carbone dans le paysage (Tableau 1). Les densités sont respectivement de1,69 tC/ha et 1,35 tC/ha pour les parcs agroforestiers et la vegetation marécageuse saisonnière. Les jardins de case pour des densités sensiblement élevées (15,40 pieds/ha) par rapport à la végétation marécageuse saisonnière stockent également peu de biomasse 0,58 tC/ha. Il est donc constaté une absence de corrélation entre la structure démographique et le niveau de stock du carbone.

Tableau 1. Variation des facteurs d'émission

	Facteur d'émissions			
FUT	**Sa**	**Pa**	**VMS**	**Jc**
Sa	**0,66**	-1,02	-0,68	0,08
Pa		**1,69**	0,34	1,11
VMS			**1,35**	0,77
Jc				**0,58**

Sa= Savanes ; Pa= Parc agroforestier ; VMS= végétation marécageuse saisonnière ; et Jc= jardin de case (Bâtis)

3.2. Données d'activités issues des mutations de formes d'utilisation des terres (FUT)

- ***Analyse de la matrice de conversion des terres de 1977-1987***

Après analyse de la matrice de conversion des terres, il ressort que durant la période 1977-1987, la végétation naturelle telle que les savanes ont connu une régression au-dépend des autres formes d'utilisation des terres. Pour une superficie totale de 126616,196 ha, la superficie des savanes qui sont restées constante au cours des deux périodes est de 34325,88 ha. (Tableau 2). Les superficies des savanes réaffectées au parc agroforestier sont de 15521,91 ha, et de 1196,61 ha pour les végétations marécageuses saisonnière.

Tableau 2. Matrice de conversion des FUT de 1977 – 1987

				1987			
FUT		Sa	Pa	VMS	Jc	Pe	Total général
1977	Sa	**34325,88**	36114,53	6473,87	27,26	51,95	76993,5
	Pa	15521,91	**28615,84**	1868,509	46,15	2,18	46054,61
	VMS	1196,61	973,77	**1284,803**	0,35		3455,55
	Jc	22,29	48,75	7,12	**27,61**		105,78
	Pe		2,84			**3,88**	6,73
	Total général	51066,70	65755,75	9634,31	101,38	58,03	126616,19

Sa= Savanes ; Pa= Parc agroforestier ; VMS= végétation marécageuse saisonnière ; Jc= jardin de case (Bâtis) et Pe= plan d'eau

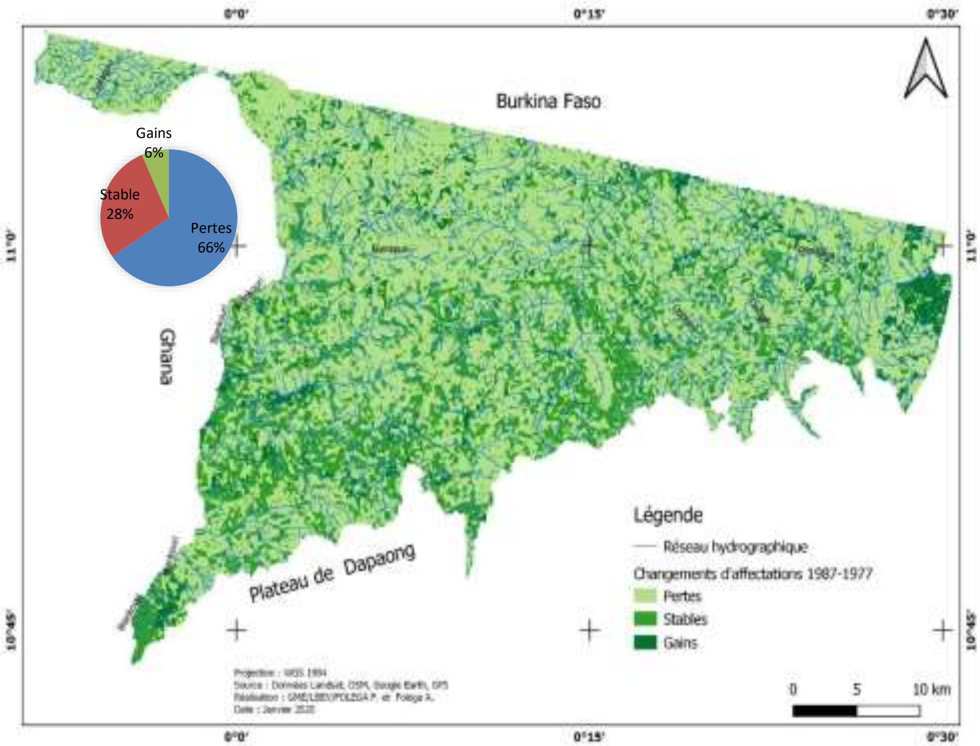


Figure 4. Variation des formes d'utilisation des terres de 1977 – 1987

La superficie des parcs agroforestiers resté constante durant cette période est de 28615,84 ha. Les parcs agroforestiers ont régressé au profit des savanes soient 36114,53 ha de la végétation marécageuse

saisonnière (973,77 ha), les jardins de case (48,75 ha) et les plans d'eau (2,18 ha). Les plans d'eau ont également perdu une partie de leurs superficies en faveur des parcs agroforestiers soit 2,18 ha.

- ***Analyse de la matrice de conversion des terres de 1987 – 1997***

Durant la période de 1987 à 1997, l'analyse de la matrice de conversion (Tableau 3) montre que les savanes sont passées de 51 070,16 ha en 1987 à 33901,01 ha en 1997. Ainsi les savanes demeurées savanes entre les deux dates sont de 15297,27 ha. La superficie des savanes perdu au profit des parcs agro forestier, de la végétation marécageuse saisonnière, des jardins de case et des plans d'eau sont respectivement de 16459,92 ha ; 2139,605 ha, 3,01 ha ; et 1,19 ha. Les parcs agroforestiers ont vu leurs superficies s'augmenté, ils sont passés de 65718,48 ha en 1987 à 74145,93 ha en 1997.

Tableau 3. Matrice de conversion des FUT de 1987 - 1997

		1997					
FUT		Sa	Pa	VMS	Jc	Pe	Total
1987	Sa	**15297,27**	27947,52	7655,62	99,46	70,28	51070,16
	Pa	16459,92	**42015,68**	6911,29	220,58	110,99	65718,48
	VMS	2139,605	4162,82	**3337,09**	9,52	18,03	9667,08
	Jc	3,01	17,24	11,29	**69,99**	0,93	102,47
	Pe	1,19	2,66	1,85		**52,27**	57,97
	Total	33901,01	74145,93	17917,16	399,56	252,52	126616,19

Sa= Savanes ; Pa= Parc agroforestier ; VMS= végétation marécageuse saisonnière ; Jc= jardin de case (Bâtis) et Pe= plan d'eau

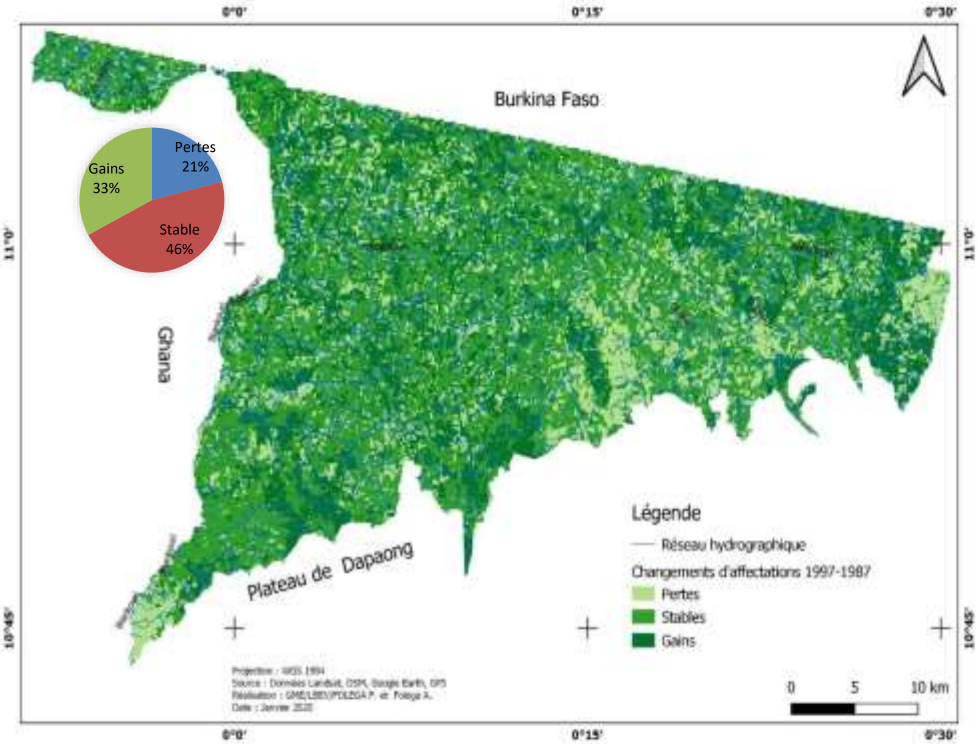


Figure 5. Variation des formes d'utilisation des terres de 1987 - 1997

- ***Analyse de la matrice de conversion de 1997 – 2000***

L'analyse des différents FUT de cette période montre une dégradation des savanes elles sont passées de 33909,21 ha en 1997 à 22128,59 ha en 2000 (Tableau 4). Au cours de ses trois années les savanes ont perdu une superficie de 12835,02 ha en faveurs des parcs agroforestier ; 740,79 ha en faveur des

végétations marécageuse saisonnière ; 3,85 ha et 4,04 ha respectivement des jardins de case et des plans d'eau. La superficie des savanes qui est resté constant au cours de cette période est de 8544,86 ha. Les parcs agroforestiers ont gagné de la superficie au cours de cette période ils sont passé de 74120,60 à 89474,19 ha.

Tableau 4. Matrice de conversion des FUT de 1997-2000

		2000					
FUT		Sa	Pa	VMS	Jc	Pe	Total général
1997	Sa	**8544,86**	22223,67	3085,44	52,79	2,43	33909,21
	Pa	12835,02	**56872,14**	4135,20	225,06	53,17	74120,60
	VMS	740,79	10209,22	**6850,18**	56,12	75,04	17931,36
	Jc	3,85	111,30	23,44	**263,99**	0,11	402,71
	Pe	4,04	57,83	71,45	2,07	**116,88**	252,29
	Total général	22128,59	89474,19	14165,72	600,04	247,64	**126616,196**

Sa= Savanes ; Pa= Parc agroforestier ; VMS= végétation marécageuse saisonnière ; Jc= jardin de case (Bâtis) et Pe= plan d'eau

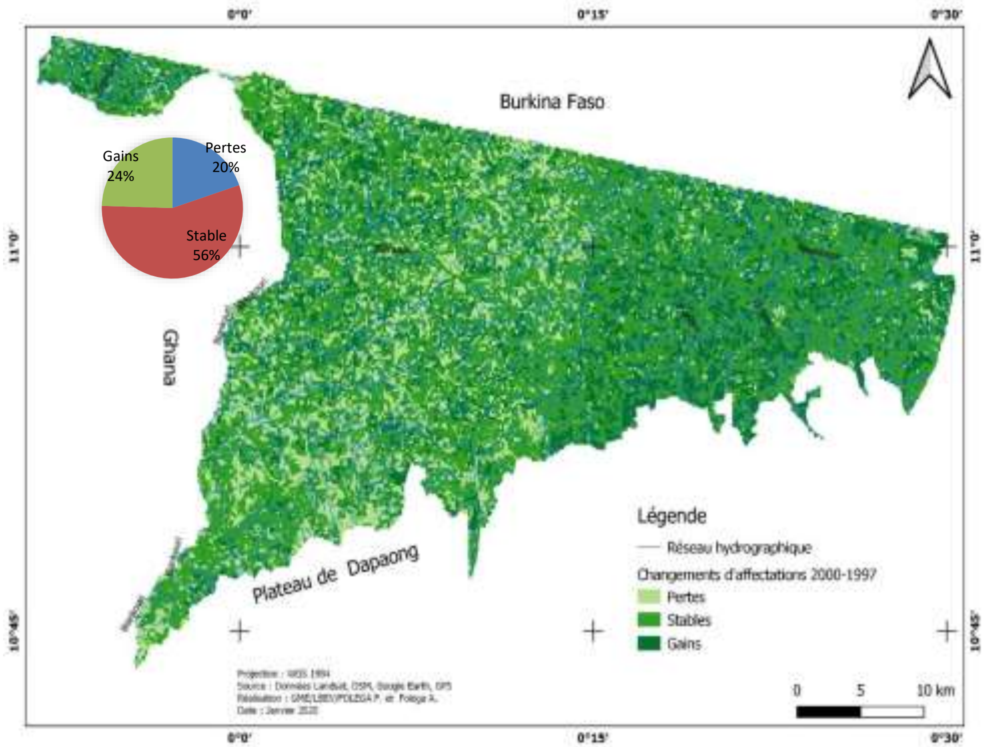


Figure 6. Variation des formes d'utilisation des terres de 1997-2000

- ***Analyse de la matrice de conversion des terres de 2000 – 2007***

Pour la période de 2000 à 2007, les savanes sont passées de 22140,86 ha à 2093,95 ha. Les savanes maintenues entre 2000 et 2007 est de 831,44 ha (Tableau 5). Les superficies des autres FUT convertie en savanes durant cette période est de 1144,02 ha pour les parcs agroforestiers ; 59,94 ha pour les végétations marécageuses saisonnière et 55,58 ha des jardins de cases.

Tableau 5. Matrice de conversion des FUT de 2000 – 2007

		2007					
FUT		Sa	Pa	VMS	Jc	Pe	Total
2000	Sa	**831,44**	20535,61	723,01	18,29	32,49	22140,86
	Pa	1144,02	**78054,91**	9938,87	151,24	180,23	89469,29
	VMS	59,94	8728,55	**5274,08**	27,99	76,54	14167,11
	Jc	55,58	335,53	53,90	**144,84**	2,14	592,01
	Pe	2,95	10,67	14,08	0,04	**219,14**	246,90
	Total	2093,95	107665,29	16003,95	342,42	510,55	**126616,19**

Sa= Savanes ; Pa= Parc agroforestier ; VMS= végétation marécageuse saisonnière ; Jc= jardin de case (Bâtis) et Pe= plan d'eau

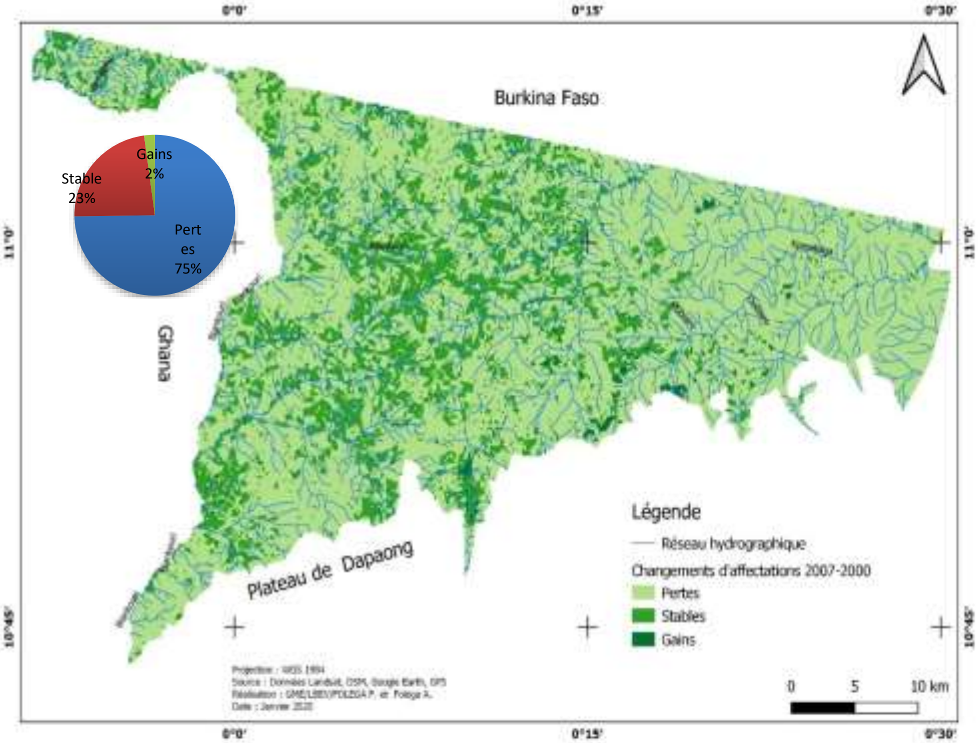


Figure 7. Variation des formes d'utilisation des terres de 2000-2007

- ***Analyse de de la matrice de conversion des terres de 2007 – 2017***

La période de 2007 à 2017 a connu d'énorme bouleversement en matière de conversion des terres. On remarque une diminution des savanes et des parcs agroforestiers et des plans d'eau au profit des végétations marécageuses saisonnier et des jardins de case. Les superficies des savanes ont connu une grande régression et son passé 2093,20 à 123,78 ha. Ainsi que les parcs agroforestiers sont passés de 107669,90 ha à 101435,44 ha et les plans d'eau de 510,33 ha à 424,97 ha (Tableau 6).
Au cours de ses deux dates, les différentes FUT restées constantes sont de 9,8 ha pour les savanes ; 91018,52 ha pour les parcs agro forestiers ; 6533,08 ha pour la végétation marécageuse saisonnière ; 205,86 ha des jardins de case, et 390,54 ha des plans d'eau.

Tableau 6. Matrice de conversion des FUT de 2007 à 2017

		2017					
FUT		Sa	Pa	VMS	Jc	Pe	Total
2007	Sa	**9,86**	1892,12	122,788	66,11	2,31	2093,20
	Pa	90,47	**91018,52**	12080,53	4469,83	10,53	107669,90

VMS	23,45	8353,80	**6533,08**	1069,27	20,69	16000,30
Jc		126,22	9,47	**205,86**	0,87	342,44
Pe		44,77	67,71	7,30	**390,54**	510,33
Total	123,78	101435,44	18813,60	5818,38	424,97	**126616,19**

Sa= Savanes ; Pa= Parc agroforestier ; VMS= végétation marécageuse saisonnière ; Jc= jardin de case (Bâtis) et Pe= plan d'eau

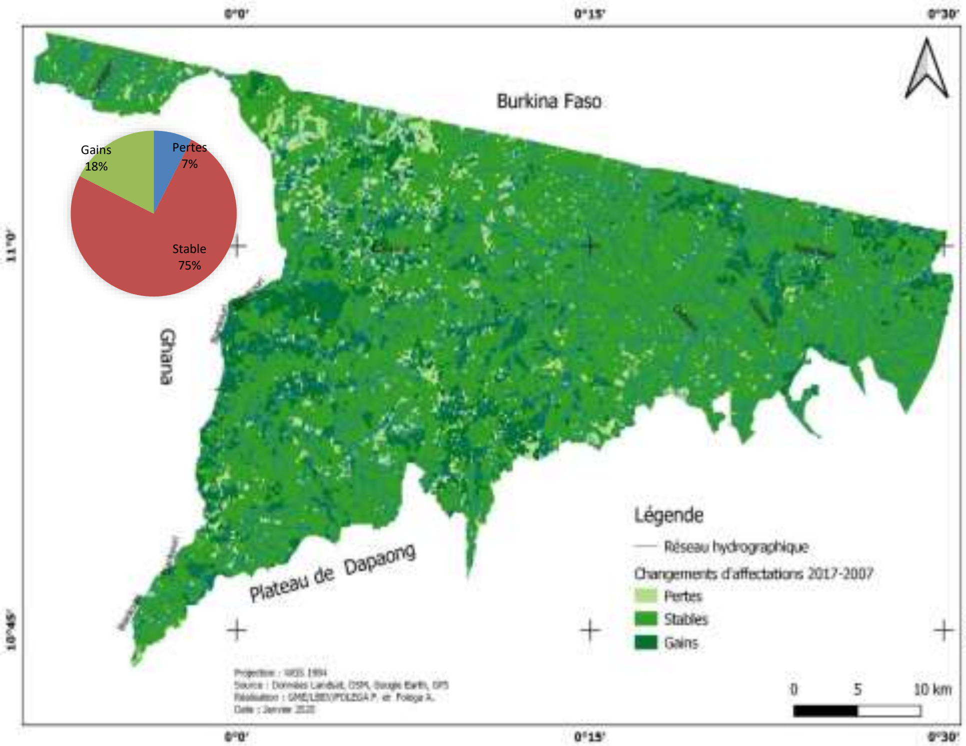


Figure 8. Variation des formes d'utilisation des terres de 2007-2017

3.3. Dynamique spatiale des émissions liées aux conversions des formes d'utilisation des terres

De l'analyse des émissions il ressort que durant la période de 1977-1987 les savanes demeurées savanes ont stocké 22879,24 tonnes de carbone cependant leur conversion en parcs agroforestiers a occasionnée une émission de 37185,07 t de carbone (Tableau 8). La même tendance s'observe de 1987 à 1997 où les savanes émettent 28775,97 tC et 5255,03 Tc respectivement au profit des parcs agroforestiers et de la végétation marécageuse saisonnière (Tableau 9).

La période 2000-2007 est caractérisée par des émissions estimé 21144,35 tC. La dérations des savanes au profit des jardins de case (bâtis) a émis 1,53t/ha de carbone (Tableau 10).

Après analyse du tableau d'émission durant la période 1977-2017 soit de quarante (40) ans, la des végétations dans le socle éburnéen a permis de stocker 70369,25t/ha de carbone qui sont repartie comme suit ; 60626,15 tC émises par les savanes au profit des parcs agroforestiers et 9743,09 tC au profit de la végétation marécageuse saisonnière (Tableau11). La conversion des savanes en jardin de case (bâtis) a émis une valeur totale 289,58 tC de carbone.

Les parcs agro forestier sont les écosystèmes qui ont le plus stocké le carbone au cours de ses quarante (40) dernière année soit 67582,78 tC de carbone, et 12,90 tC de carbone émis au cours de la conversion des parcs agroforestier en d'autre savanes. Les parcs agroforestiers sont également les écosystèmes qui émettent plus de carbone (3753,59 tC) soit 1378,14 tC d'émission de carbone lors de la conversion en végétation marécageuse saisonnier et 2375,45 tC en jardin de case (bâtis).

Les végétations marécageuses durant la période (1977-2017) ont stocké 779,41 tC de carbone et ont émis au total 1038,13 tC dont 942,31 tC au cours de leur conversion en parcs agroforestiers et 95,82 tC en jardin de case.

4. Discussion

Les changements d'affectation des terres sont fortement induits par des facteurs anthropiques tels que l'agriculture itinérante sur brulis, le surpâturage, les feux de végétation et l'exploitation abusive et incontrôlée des ligneux ainsi que l'expansion des zones urbaines. Tous ces différents aspects de changement d'affectation des terres influencent les facteurs d'émission (Diwediga *et al.*, 2015 ; Polo-Akpisso *et al.*, 2016).

Parmi les cinq (5) formes d'utilisation des terres du socle éburnéen, les jardins de case et les savanes ont un facteur d'émission faible évalué respectivement à 0,58 et 0,66. Ceci s'explique par une faible densité des ligneux et une forte proportion des herbacées dans ces formations(Luedeling & Neufeldt, 2012 ; Ryan *et al.*, 2012). Les arbres qui existent dans les savanes présentent de petits diamètres et de petites tailles ; cause probable d'un potentiel de stockage de carbone moins important (Fousseni *et al.*, 2019) par rapport aux autres formes d'utilisation des terres. Bon nombre de recherches (Wala *et al.*, 2005 ; Ciais *et al.*, 2011 ; Juwarkar *et al.*, 2011 ; Pereki *et al.*, 2013 ; Aleza *et al.*, 2015) ont également montré que le type de végétation, le degré de perturbation, et la forme d'utilisation et de gestion des écosystèmes sont liés aux facteurs d'émission.

Le facteur d'émission des végétations marécageuses saisonnier et des parcs agroforestiers est plus ou moins élevé. Ceci s'explique par une présence de ligneux plus ou moins important dans ces deux écosystèmes qui subissent moins de pressions anthropiques (Pereki *et al.*, 2013 ; Ekoungoulou *et al.*, 2014). Pour les végétations marécageuses, cela serait dû à leur accessibilité difficile d'une part ou que la population les préserverait pour pratiquer les cultures maraichères en période de soudure d'autre part (Fousseni *et al.*, 2014 ; Fousseni *et al.*, 2017). Les parcs agroforestiers, jouissant d'un soin particulier rendent de multiples services, notamment les produits forestiers non ligneux qu'elle fournit aux populations, Ces résultats sont similaires à d'autres travaux réalisés dans la sous-région (Wala *et al.*, 2005 ; Folega *et al.*, 2011 ; Aleza *et al.*, 2015) dans le contexte d'adaptation sur les changements climatiques.

Sur une période de 40 ans, les données d'activité ont évolué d'une façon disproportionnée. On constate une dégradation très prononcée des végétations naturelles telles que les savanes. Ces dernières se sont converties en parcs agroforestiers, en végétations marécageuses saisonnier, en jardins de case et en plan d'eau. Ce même constat est fait par Folega *et al*, (2014) et Polo-Akpisso *et al,* (2016) dans la zone soudanienne du Togo ; par Koumoi *et al*, 2013 au Centre du Togo, par Takou *et al,* 2012 dans la zone guinéenne du Togo et par Mama (2013) au Benin.

Cette forte dégradation traduit par une réduction drastique du couvert végétal observée entre 1997 et 2017. La meme tendance est constatée la régression des mêmes types de formations dans le bassin versant de la Sota au nord du Benin. Les principales causes sont une forte démographie qui a presque doublé dans ces vingt (20) dernière année impliquant ainsi une multiplication des zones d'habitation, une progression impressionnante des zones de cultures (Arouna, 2012 ; Arouna *et al.*, 2016), la pratique de l'agriculture extensive sur brulis, le passage saisonnier des feux de végétations, les pâturages, l'exploitation du bois (Diwédiga *et al.*, 2012 ; Fousseni *et al.*, 2012). L'agriculture extensive sur brûlis, oblige les paysans à aller vers la conquête d'autre terre plus fertile notamment des végétations naturelles qui ne cessent de diminuer en superficie (Gomgnimbou *et al.*, 2010).

Durant les quarante (40) ans, la conversion des parcs agroforestiers en d'autre forme d'utilisation des terres a émis plus de carbone que la conversion des autres FUT en parcs agroforestier. L'émission du carbone dans l'atmosphère est étroitement liée à l'évolution des différentes unités d'occupation et également traduit par la diminution ou augmentation des formations végétales qui sont considérés comme puits de carbone au profit des zones urbaines. Une régression des végétations naturelle impliquerait la perte de la biomasse couplée à une diminution du pouvoir de séquestration. Les mêmes résultats ont été fournis par le rapport national d'inventaire des gaz à effet de serres au Togo en 2017. Le taux d'accroissement global s'élève à environ 78,87 % pour la série temporelle 1995-2015. Les estimations de GES indirects donnent dominant les émissions de monoxyde de carbone en termes massiques.

5. Conclusion

Les techniques d'écologie du paysage couplées à la télédétection et le système d'information géographique nous ont permis d'effectuer cette étude. L'étude a révélé une augmentation disproportionnée des émissions

du carbone de 1977 à 2017. Les parcs agroforestiers émettent le plus de carbone lorsqu'il change de forme suivit des végétations marécageuses saisonnière ensuite des savanes et enfin des jardins de case. L'étude a également révélée une régression spectaculaire des végétations naturelles au profit des formations anthropisées due à plusieurs facteurs dont le plus important est la pression démographique qui a presque doublé. En somme, pour une régulation des émissions du carbone lié à la déforestation et à la dégradation des terres du socle éburnéen, les politiques en faveurs d'une bonne gestion du carbone devraient prendre en compte la promotion des pratiques agroécologiques climato-intelligentes couplé aux mesures d'efficacité énergétique par l'adoption des meules casamançaise et de foyer amélioré y'compris la promotion du reboisement villageois communautaire et individuel.

Références

Abba B., 2013. Dynamique de l'occupation du sol sur le plateau de Dyabou (Département de Say, Niger). *TERRITOIRES, SOCIETES ET ENVIRONNEMENT*: 27.

Aboubacar K., Douma S., Mamoudou B.M., Seyni R.S.D., 2018. Structure des populations naturelles de Neocarya macrophylla (Sabine) Prance, ligneux d'intérêt alimentaire, dans le Dallol Bosso, Niger. *BOIS & FORETS DES TROPIQUES*, 337: 67-78.

Ahmad F., Goparaju L., Qayum A., 2019. FAO guidelines and geospatial application for agroforestry suitability mapping: case study of Ranchi, Jharkhand state of India. *Agroforestry Systems*, 93(2): 531-544.

Akoègninou A., Van der Burg W., Van der Maesen L.J.G., 2006. *Flore analytique du Bénin*: Backhuys Publishers, p.

Aleza K., Wala K., Bayala J., Villamor G.B., Dourma M., Atakpama W., Akpagana K., 2015. Population structure and regeneration status of Vitellaria Paradoxa (CF Gaertner) under different land management regimes in Atacora department, Benin. *Agroforestry Systems*, 89(3): 511-523.

Allen C., Metternicht G., Wiedmann T., 2016. National pathways to the Sustainable Development Goals (SDGs): A comparative review of scenario modelling tools. *Environmental Science & Policy*, 66: 199-207.

Angelsen A., Rudel T.K., 2013. Designing and implementing effective REDD+ policies: A forest transition approach. *Review of Environmental Economics and Policy*, 7(1): 91-113.

Arouna O., 2012. *Cartographie et modélisation prédictive des changements spatio-temporels de la végétation dans la Commune de Djidja au Bénin: implications pour l'aménagement du territoire.* Doctorat unique, Université d'Abomey-Calavi (Bénin), p.

Arouna O., Etene C.G., Issiako D., 2016. Dynamique de l'occupation des terres et état de la flore et de la végétation dans le bassin supérieur de l'Alibori au Benin. *Journal of Applied Biosciences*, 108(1): 10543-10552.

Blaser J., Sarre A., Poore D., 2011. Status of Tropical Forest Management 2011. ITTO Technical Series No 38., International Tropical Timber Organization, Yokohama, Japan, p 420.

Brunel J.-F., Hiepko P., Scholz H., 1984. Flore analytique du Togo: phanérogames. *Englera*: 3-751.

Caballe G., 1984. Essai sur la dynamique des peuplements des lianes ligneuses d'une forêt du Nord-Est du Gabon.

Cairns M.A., Brown S., Helmer E.H., Baumgardner G.A., 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, 111(1): 1-11.

Chave J., Andalo C., Brown S., Cairns M., Chambers J., Eamus D., Fölster H., Fromard F., Higuchi N., Kira T., 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1): 87-99.

Ciais P., Bombelli A., Williams M., Piao S., Chave J., Ryan C., Henry M., Brender P., Valentini R., 2011. The carbon balance of Africa: synthesis of recent research studies. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1943): 2038-2057.

Diwédiga B., Batawila K., Wala K., Hounkpè K., Gbogbo A.K., Akpavi S., Tatoni T., Akpagana K., 2012. Exploitation Agricole Des Berges: Une Strategie D'adaptation Aux Changements Climatiques Destructrice Des Forets Galleries Dans La Plaine De L'oti. *African Sociological Review/Revue Africaine de Sociologie*, 16(1): 77-99.

Diwediga B., Le Q.B., Agodzo S., Wala K., 2017. Potential storages and drivers of soil organic carbon and total nitrogen across river basin landscape: The case of Mo river basin (Togo) in West Africa. *Ecological Engineering*, 99: 298-309.

Diwediga B., Wala K., Folega F., Dourma M., Woegan Y.A., Akpagana K., Le Q.B., 2015.

Biophysical and anthropogenous determinants of landscape patterns and degradation of plant communities in Mo hilly basin (Togo). *Ecological Engineering*, 85: 132-143.

Ekoungoulou R., Liu X., Ifo S.A., Loumeto J.J., Folega F., 2014. Carbon stock estimation in secondary forest and gallery forest of Congo using allometric equations.[J]. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 3(3): 465-474.

Explorer U.E., 2014. Landsat-8 satellite image, Landsat scene identifier No. LC81740382014124LGN00. Accessed: June 2014.

FAO., 1997. *Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer*: FAO, p.

Folega F., Atakpama W., Wala K., Mukete B., Shozo S., Akira O., Zhao X.-h., Akpagana K., 2019. Land use patterns and tree species diversity in the Volta Geological Unit, Togo. *Journal of Mountain Science*, 16(8): 1869-1882.

Folega F., Diwediga B., Guuroh R.T., Kperkouma W., Akpagana K., 2020. Riparian and stream forests carbon sequestration in the context of high anthropogenic disturbance in Togo. *Moroccan Journal of Agricultural Sciences*, 1(1).

Folega F., Zhang C., Samake G., Kperkouma W., Batawila K., Zhao X., Koffi A., 2011. Evaluation of agroforestry species in potential fallows of areas gazetted as protected areas in North-Togo. *Afr. J. Agric. Res*, 6(12): 2828-2834.

Fousseni F., Andrianamenoso R., Kperkouma W., Agbelessessi W., Madjouma K., Hodabalo P., Aniko P.-A., Komlan B., Koffi A., 2017. Écologie et dynamique spatio-temporelle des mangroves au Togo. *[VertigO] La revue électronique en sciences de l'environnement*, 17(3).

Fousseni F., Atakpama W., Madjouma K., Kperkouma W., Batawila K., Akpagana K., 2019. Agroforestry parklands and carbon sequestration in tropical Sudanese region of Togo. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 7(4): 563-570.

Fousseni F., Marra D., Wala K., Batawila K., Xiuhai Z., Chunyu Z., Akpagana K., 2014. Basic overview of riparian forest in sudanian savanna ecosystem: case study of Togo. *Revue d'écologie*.

Fousseni F., Marra D., Wala K., Batawila K., Zhang C.-y., Zhao X.-h., Akpagana K., 2012. Assessment and impact of anthropogenic disturbances in protected areas of northern Togo. *Forestry Studies in China*, 14(3): 216-223.

Gibbs H.K., Brown S., Niles J.O., Foley J.A., 2007. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environmental Research Letters*, 2(4): 045023.

GIEC, 2006. *Lignes directrices 2006 du Giec pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre*. Kanagawa, Japon: Institute for Global Environnemental Strategies, p.

Gomgnimbou A.P., Nianogo A.J., Millogo-Rasolodimby J., 2010. De la logique d'occupation spatiale a l'emergence des risques environnementaux dans la zone sud-soudanienne du burkina faso: cas de l'interaction entre la culture de coton et l'elevage.

Hulme P.E., 2005. Adapting to climate change: is there scope for ecological management in the face of a global threat? *Journal of Applied ecology*, 42(5): 784-794.

Jacquin A., Goulard M., 2013. Using spatial statistics tools on remote-sensing data to identify fire regime linked with savanna vegetation degradation. *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems (IJAEIS)*, 4(1): 68-82.

Jacquin A., Sheeren D., Lacombe J.-P., 2010. Vegetation cover degradation assessment in Madagascar savanna based on trend analysis of MODIS NDVI time series. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12: S3-S10.

Juwarkar A., Varghese A., Singh S., Aher V., Thawale P., 2011. Carbon sequestration potential in aboveground biomass of natural reserve forest of Central India. *International journal of Agriculture: Research and review*, 1(2): 80-86.

Keenan R.J., Reams G.A., Achard F., de Freitas J.V., Grainger A., Lindquist E., 2015. Dynamics of global forest area: Results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015. *Forest Ecology and Management*, 352: 9-20.

Kombate B., Dourma M., Folega F., Woegan A.Y., Kpérkouma W., Akpagana K., 2019. Structure et potentiel de séquestration de carbone des formations boisées du Plateau Akposso en zone sub-humide au Togo. *Afrique SCIENCE*, 15(2): 70-79.

Luedeling E., Neufeldt H., 2012. Carbon sequestration potential of parkland agroforestry in the Sahel. *Climatic Change*, 115(3-4): 443-461.

MacDicken K.G., 2015. Global forest resources assessment 2015: what, why and how? *Forest Ecology and Management*, 352: 3-8.

MEDDPN M.a., 2016. Inventaire Forestier National du Togo (2015-2016). Lome-Togo: MEDDPN Togo, 79 p.

Ouédraogo O., Thiombiano A., Hahn-Hadjali K., Guinko S., 2008. Diversité et structure des groupements ligneux du parc national d'Arly (Est du Burkina Faso). *Flora et Vegetatio Sudano-Sambesica*, 11: 5-16.

Pereki H., Wala K., Thiel-Clemen T., Bessike M.P.B., Zida M., Dourma M., Batawila K., Akpagana K., 2013. Woody species diversity and important value indices in dense dry forests in Abdoulaye Wildlife Reserve (Togo, West Africa). *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 5(6): 358-366.

Polo-Akpisso A., Wala K., Ouattara S., Foléga F., Tano Y., 2016. Changes in land cover categories within Oti-Kéran-Mandouri (OKM) complex in Togo (West Africa) between 1987 and 2013. *Implementing Climate Change Adaptation in Cities and Communities*: Springer, 3-21.

Polo-Akpisso A., Wala K., Ouattara S., Woegan Y.A., Coulibaly M., Atato A., Atakpama W., M'Tékounm Nare T.Y., Akpagana K., Plant Species Characteristics and Woody Plant Community Types within the Historical Range of Savannah Elephant, Loxodonta africana Blumenbach 1797 in Northern Togo (West Africa).

Poss R., 1996. *Étude morphopédologique du nord du Togo à 1/500 000. (Notice Explicative ; 109)*. Paris, France: ORSTOM, 145 p.

QGIS-Dev-Team, 2016. QGIS geographic information system. *Open source geospatial Foundation project*.

Ryan C.M., Hill T., Woollen E., Ghee C., Mitchard E., Cassells G., Grace J., Woodhouse I.H., Williams M., 2012. Quantifying small-scale deforestation and forest degradation in African woodlands using radar imagery. *Global Change Biology*, 18(1): 243-257.

Solomon S., 2007. IPCC (2007): Climate change the physical science basis. *AGU Fall Meeting Abstracts*.

Wala K., Sinsin B., Guelly K., Kokou K., Akpagana K., 2005. Typology and structure of farmed parklands in the district of Doufelgou (Togo). *Sécheresse*, 16(3): 209-216.